



بهبود ویژگی های فیزیکی، پاداکسندگی و زیست تخریب پذیری فیلم ترکیبی آلزینات-ژلاتین حاوی فایکوسیانین

سارا آل بهبهانی^۱، صدیقه بابایی^{۲*}، محمود ناصری^۳، مینا اسمعیلی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، فرآوری محصولات شیلاتی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

۲- نویسنده مسئول: دانشیار، فرآوری محصولات شیلاتی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. s-babaci@shirazu.ac.ir

Babaei.sedigheh@gmail.com

۳- دانشیار، فرآوری محصولات شیلاتی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

۴- استادیار، فرآوری محصولات شیلاتی، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

پیشینه و هدف: این پژوهش با هدف بررسی اثر رنگدانه فایکوسیانین از جلبک اسپیرولینا در بهبود ویژگی های فیلم ترکیبی آلزینات-ژلاتین صورت گرفت.

نوع مقاله:

مقاله کامل علمی-پژوهشی

مواد و روش ها: تیمارهای آزمایشی شامل: ژلاتین، آلزینات سدیم، فیلم ترکیبی آلزینات سدیم-ژلاتین، فیلم ترکیبی حاوی ۱۰ درصد فایکوسیانین، و فیلم ترکیبی حاوی ۲۰ درصد و شاخص های مورد بررسی شامل: ضخامت، رطوبت، حلالیت، رنگ، پاداکسندگی و زیست تخریب پذیری می باشد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۳/۳/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۹/۱

نتایج و بحث: بررسی اثر افزودن فایکوسیانین به فیلم ترکیبی نشان داد که فایکوسیانین اثر معناداری بر میزان رطوبت فیلم های تهیه شده داشت. فیلم های ترکیبی آلزینات - ژلاتین و فیلم حاوی فایکوسیانین دارای کم ترین میزان حلالیت بودند ($P < 0/05$). نتایج رنگ نشان داد بیشترین تغییرات رنگ در فیلم های حاوی ۱۰ درصد فایکوسیانین و فیلم ترکیبی حاوی ۲۰ درصد است. نتایج زیست تخریب پذیری نشان داد همه فیلم ها بعد از ۷ روز مدفون شدن در خاک، تکه تکه شدند و در ۱۵ روز کاملاً تخریب شدند. نتایج تست DPPH نشان داد با افزایش غلظت های فایکوسیانین مهار رادیکال آزاد در فیلم ها افزایش می یابد. در نتیجه می توان اظهار داشت که فیلم های آلزینات سدیم-ژلاتین حاوی فایکوسیانین از نظر ممانعت از واکنش اکسیداسیون در مواد غذایی در صنایع غذایی کارآمد می باشند.

واژگان کلیدی:

اسپیرولینا، کامپوزیت، فعالیت پاداکسندگی، فیلم زیست تخریب پذیر

Enhancing Physical Properties, Antioxidant Activity, and Biodegradability of Alginate-Gelatin Composite Film Containing Phycocyanin

S. Al Behbahani¹, S. Babaei^{1*}, M. Naseri¹, M. Esmacili²

1- Department of Natural Resources and Environmental Engineering, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.

E-mail: s-babaei@shirazu.ac.ir, Babaei.sedigheh@gmail.com

2- Department of Fisheries, Faculty of Animal Sciences and Fisheries, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

Article type:

Full Length Research Paper

Article history:

Received: 15/1/2024

Revised: 31/5/2024

Accepted: 11/22/2025

Keywords

Spirulina, Composite,
Antioxidant activity,
Biodegradable film

Abstract

Background and Objectives: This research aimed to investigate the effect of phycocyanin pigment from spirulina algae in improving the properties of alginate-gelatin composite film.

Materials and Methods: Experimental treatments include gelatin, sodium alginate, sodium alginate-gelatin composite film, composite film containing 10% phycocyanin, and composite film containing 20%. The thickness, moisture content, solubility, color, antioxidant activity, and biodegradability of the films were investigated.

Results and Discussion: Investigating the effect of adding phycocyanin to the composite film showed that phycocyanin had a significant effect on the moisture content of the prepared films. Alginate-gelatin and phycocyanin combined films had the lowest solubility ($P < 0.05$). The color results showed that the greatest color changes occurred in the AGP10 and AGP20 films. The biodegradability results showed that all the films were fragmented after 7 days of burial in the soil and completely degraded in 15 days. The results of the DPPH test showed that free radical inhibition in films increases with increasing phycocyanin concentrations. As a result, it can be stated that alginate-sodium-gelatin films containing phycocyanin are effective in preventing the oxidation reaction in food in the food industry.

۱- مقدمه

امروزه مطالعات متعددی بر توسعه فیلم‌ها و پوشش‌های زیست‌تخریب پذیر مبتنی بر پلیمرهای زیستی متمرکز شده‌اند. بسته‌بندی خوراکی را می‌توان به دو صورت اعمال کرد: (۱) پوشش خوراکی به‌طور مستقیم روی محصول غذایی و (۲) فیلم از پیش ساخته شده پیچیده شده در اطراف محصول غذایی [۱]. برخی از پلیمرهای زیستی عملکرد بسیار خوبی را به عنوان حامل ترکیبات زیست‌فعال از خود نشان می‌دهند و می‌توانند با رهش کنترل شده به مواد غذایی بسته‌بندی شده، آزاد شوند.

ژلاتین یک بیوپلیمر پروتئینی مهم است که از کلاژن استخراج می‌شود و به دلیل خواص عملکردی عالی به‌طور گسترده در صنایع غذایی استفاده می‌شود. با این حال، فیلم‌های ژلاتینی حساس به رطوبت هستند و به راحتی در صورت تماس با آب حل، متورم و یا شکافته می‌شوند که استفاده از آن را در بسته‌بندی مواد غذایی محدود می‌کند. مواد طبیعی و مصنوعی مختلف مانند انواع بیوپلیمرها و نرم‌کننده‌ها در فیلم‌های ژلاتینی گنجانده می‌شوند تا پایداری مکانیکی و حرارتی، الاستیسیته، انعطاف‌پذیری و ممانعت از اکسیژن و نور را بهبود بخشند [۲].

آلژینات نیز یک پلی‌ساکارید طبیعی است که از جلبک‌های قهوه‌ای استخراج می‌گردد و در صنایع بسته‌بندی استفاده می‌شود. پوشش‌ها و فیلم‌های خوراکی مبتنی بر آلژینات به دلیل بهبود و حفظ کیفیت، افزایش ماندگاری، بهبود خواص مکانیکی و ظاهری در محصولات مانند میوه، سبزیجات، گوشت، مرغ، غذاهای دریایی، پنیر و غیره مورد توجه قرار گرفته‌اند [۳]. از آنجا که هر ماده به تنهایی در فیلم ممکن است دارای نقاط ضعفی باشد ممکن است با ترکیب مواد مختلف بتوان ویژگی‌های فیلم را بهبود بخشید. نتایج مطالعات پیشین نشان داد که ترکیب آلژینات سدیم با ژلاتین روشی موثر در جهت بهبود خواص فیزیکی فیلم بود [۴].

فایکوسیانین یک رنگ‌دانه فتوسنتزی آبی روشن و فیکوبیلی پروتئین اصلی محلول در آب در ساختار بسیاری از جلبک‌های سبز-آبی است که دارای ارزش غذایی بالا، خواص پاداکسندگی، ضدویروسی، ضدسرطانی و ضدالتهاپی است [۵]. در مطالعه‌ای، فیلم‌های زیستی مبتنی بر ژلاتین گاوی همراه با عصاره فایکوسیانین نشان داد که فایکوسیانین به تثبیت حرارتی زنجیره ژلاتین کمک کرده و همچنین فیلم‌های ژلاتین-فایکوسیانین فعالیت ضدباکتریایی در برابر باکتری‌های گرم منفی و گرم مثبت

نشان دادند [۶]. همچنین افزودن فایکوسیانین به فیلم ماهی *Piaractus mesopotamicus* در طول دوره نگهداری، سبب مهار فرآیند اکسیداسیون لیپید شد. نتایج این تحقیق نشان داد فایکوسیانین می‌تواند با جلوگیری و یا به حداقل رساندن فساد چربی، جایگزین مناسبی به جای پاداکسندگی‌های مصنوعی باشد [۷]. در مطالعه‌ای دیگر روی ثبات رنگ و فعالیت پاداکسندگی بستنی‌های حاوی فایکوسیانین نیز نشان داده شد بستنی‌های حاوی فایکوسیانین نسبت به گروه کنترل فعالیت پاداکسندگی بالاتری داشتند و ثبات رنگ آبی در فرمولاسیون بستنی می‌تواند در آینده جذابیت و مشتری پسندی بیشتری داشته باشد [۸].

تاکنون پژوهشی بر پایه تولید فیلم خوراکی آلژینات سدیم-ژلاتین و فایکوسیانین حاصل از میکروجلبک اسپیرولینا گزارش نشده است. در پژوهش حاضر ضمن بررسی امکان‌پذیری تولید فیلم خوراکی آلژینات سدیم-ژلاتین، از فایکوسیانین در جهت ارتقا خواص پاداکسندگی فیلم استفاده شد.

۲- مواد و روش

۲-۱- مواد مورد نیاز

ژلاتین نوع A، آلژینات سدیم، گلیسرول با خلوص ۹۹٪ به عنوان پلاستی‌سایزر، فایکوسیانین استخراج شده از ریزجلبک اسپیرولینا (شرکت توسعه ذخایر زیستی جلبک‌های فارس)، متانول، ۲ و ۲-دی فیل-۱-پیکریل هیدرازیل (DPPH)، فالكون، پارچه نظیف، پتری دیش و....

۲-۲- تیمار بندی و تهیه فیلم‌ها

در این تحقیق پنج تیمار مورد بررسی قرار گرفتند:

- فیلم ژلاتین (۲/۵٪ وزنی: حجمی) (G)

- فیلم آلژینات (۰/۵٪ وزنی: حجمی) (A)

- فیلم ترکیبی آلژینات-ژلاتین (نسبت ۱: ۱) (AG)

- فیلم ترکیبی AG حاوی فایکوسیانین (۱۰٪ وزنی: وزنی) (AGP10)

- فیلم ترکیبی AG حاوی فایکوسیانین (۲۰٪ وزنی: وزنی) (AGP20)

جهت تهیه فیلم G، ژلاتین به میزان ۲/۵ گرم در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر (Direct-QUV3, France) حل شد. به منظور انحلال بهتر، محلول در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت روی هیتر مگنت (HS-860، آلفا تجهیز، ایران) قرار داده شد تا

غوطه‌ور شدند و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفتند. سپس در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند (W₂). حلالیت فیلم‌ها با فرمول زیر محاسبه شد [۱۲].

$$(\%) = (W_1 - W_2) / W_1 \times 100 = \text{حلالیت}$$

۲-۴- اندازه‌گیری رنگ

برای تعیین رنگ فیلم‌ها از دستگاه رنگ‌سنج (MAT, 2000 Series. IDME Co., Ltd. Shiraz, Iran) استفاده شد. ابتدا نمونه‌های فیلم روی صفحه استاندارد سفید قرار داده شده، سپس شاخص‌های رنگ از قبیل L^* (روشنایی)، a^* (قرمزی-سبزی) و b^* (آبی-زردی) برای هر نمونه پنج بار به صورت تصادفی به وسیله دستگاه رنگ‌سنج قرائت شدند. شاخص تغییرات رنگ با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد [۱۳].

$$\text{اختلاف رنگ} = \sqrt{(L^* - L)^2 + (a^* - a)^2 + (b^* - b)^2}$$

۲-۵- تعیین ظرفیت پاداکسندگی فیلم‌ها

به منظور بررسی خواص پاداکسندگی از روش مهار رادیکال آزاد DPPH استفاده شد. در ابتدا وزن مشخصی (۲۵ میلی‌گرم) از فیلم‌های تولید شده درون میکروتیوپ آزمایشگاهی توزین شدند. به هر کدام از تیوب‌ها ۳ میلی‌لیتر اتانول اضافه و ورتکس گردید، سپس ۱۰۰ میکرولیتر از محلول حاصل با ۳/۹ میلی‌لیتر محلول DPPH ۶۰ میکرومولار مخلوط شدند. سپس جذب هر کدام از نمونه‌ها به همراه نمونه شاهد بعد از ورتکس مجدد، با استفاده از دستگاه الیزا در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت گردید. ظرفیت مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH طبق فرمول زیر محاسبه شد [۱۱].

$$100 \times \text{جذب کنترل} / (\text{جذب نمونه} - \text{جذب کنترل}) = (\%) \text{ مهار رادیکال آزاد}$$

۲-۶- آزمون زیست تخریب‌پذیری

برای انجام آزمون زیست تخریب‌پذیری نمونه‌های فیلم در ابعاد ۲×۲ cm بریده شده و در عمق ۲ سانتی‌متر خاک، روی توری‌های فلزی دفن شدند. نمونه‌ها در دمای محیط و تحت شرایط هوایی نگاه‌داری شدند. سپس نمونه‌های فیلم بعد از ۷ و ۱۴ روز از خاک در آورده شد و عکسبرداری شدند [۱۴].

۳- نتایج و بحث

کاملاً حل شود. سپس محلول با قیف بوخنر فیلتر شد. جهت انعطاف‌پذیری بیشتر فیلم‌ها ۴۰ درصد وزن ماده خشک، گلیسرول به محلول اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه هم زده شد. جهت تهیه فیلم A، آلزینات سدیم به میزان ۰/۵ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد. به منظور انحلال بهتر، در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت روی هیتر مگنت حرارت داده شد تا کاملاً حل شود. سپس محلول حاصل با قیف بوخنر فیلتر شد. جهت انعطاف‌پذیری بیشتر فیلم‌ها ۴۰ درصد وزن ماده خشک، گلیسرول به محلول اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه هم زده شد [۹]. سپس فیلم AG با نسبت‌های برابر از فیلم A و G تهیه شد.

جهت تهیه فیلم‌های AGF10 و AGF20، پودر فایکوسیانین با درصد مشخص بر حسب وزن خشک فیلم، به فیلم ترکیبی آلزینات-ژلاتین اضافه شد و در دمای اتاق و ۶۰۰ دور در دقیقه به مدت ۶۰ دقیقه روی هیتر مگنت تهیه شد. به منظور همگن شدن بهتر فایکوسیانین در محلول فیلم از هموژنایزر اولتراسونیک (UHP-400, Iran) با توان ۱۵۰ وات به مدت ۱۰ دقیقه در دمای اتاق استفاده شد. تمام محلول‌های به دست آمده در بالا به میزان ۲۵ میلی‌لیتر به پلیت شماره ۸ اضافه شدند و در دمای اتاق خشک شدند [۱۰].

۲-۳- شاخص‌های فیزیکی فیلم

۲-۳-۱- ضخامت

برای اندازه‌گیری ضخامت فیلم‌ها از دستگاه میکرومتر با دقت ۰/۰۰۱ میلی‌متر استفاده گردید. اندازه‌گیری‌ها به صورت تصادفی در پنج نقطه از هر نمونه تکرار شدند و میانگین ضخامت این نقاط در نظر گرفته شد.

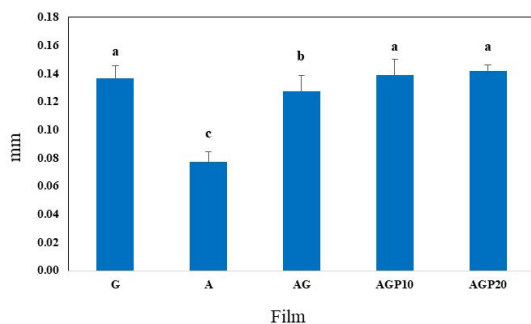
۲-۳-۲- رطوبت

مقدار مشخصی از نمونه‌ها توزین و داخل پلیت‌های شیشه‌ای قرار داده شدند، سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون (Fara Azma, KM23S, ایران) خشک شدند. پس از این مدت نمونه‌ها همراه با پلیت از انکوباتور خارج و پس از سرد شدن در دسیکاتور مجدداً توزین شد. محتوای رطوبت فیلم‌ها از رابطه زیر محاسبه شد [۱۱].

$$100 \times (\text{وزن نمونه تر وزن نمونه خشک} - \text{وزن نمونه تر} = \text{رطوبت } (\%)$$

۲-۳-۳- حلالیت

برای تعیین حلالیت در آب، فیلم‌های بدون رطوبت با اندازه ۲×۲ سانتی‌متر ابتدا وزن شده (W₁) و سپس در ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر



شکل ۱- ضخامت فیلم ژلاتین (G)، آلژینات (A)، آلژینات-ژلاتین (AG)، آلژینات-ژلاتین حاوی ۱۰ درصد فایکوسیانین (AGP10)، آلژینات-ژلاتین حاوی ۲۰ درصد فایکوسیانین (AGP20).

Figure 1- The thickness of gelatin (G), alginate (A), alginate-gelatin (AG), alginate-gelatin containing 10% phycocyanin (AGP10), and alginate-gelatin containing 20% phycocyanin (AGP20) films.

۳-۲- رطوبت

یکی از کاربردهای مهم بسته‌بندی مواد غذایی کاهش جا بجایی رطوبت بین محیط مجاور و مواد غذایی است که این امر باعث حفظ کیفیت مواد غذایی بسته‌بندی شده می‌شود. طبق شکل ۲، رطوبت فیلم‌ها حدود ۳۳-۱۰ درصد نشان داده شد. بررسی نتایج نشان می‌دهد فیلم ژلاتین در صد رطوبت کمتری نسبت به فیلم آلژینات سدیم داشته و ترکیب این دو موجب کاهش درصد رطوبت فیلم ترکیبی شد. اثر افزودن فایکوسیانین به فیلم AG نشان داد که فایکوسیانین موجب کاهش حدود ۷٪ رطوبت فیلم نسبت به فیلم AG شد ($P < 0/05$).

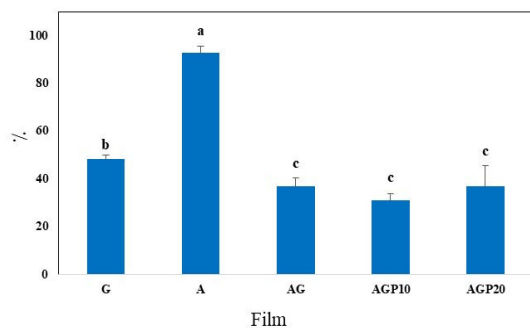
مطالعات پیشین نشان داد با افزایش غلظت اسانس نعنا، میزان رطوبت دو نوع فیلم ژلاتین گاو و ژلاتین خوک کاهش یافت که دلیل این کاهش شدید رطوبت، می‌تواند به دلیل آبرگریز بودن اسانس‌ها باشد [۲۰]. محتوای رطوبت در فیلم عصاره دانه سویای سیاه- کیتوزان، با افزایش مقدار عصاره کاهش یافت که می‌تواند با ترکیبات آنتوسیانین در عصاره‌ها مرتبط باشد [۲۱]. نتایج مشابهی در ترکیب آلژینات سدیم-ژلاتین و عصاره پوست آلو مشاهده شد به طوری که افزودن عصاره پوست آلو به طور قابل توجهی میزان رطوبت را کاهش داد که نشان می‌دهد گروه‌های آب‌دوست پلیمر می‌توانند پیوندهای هیدروژنی با عصاره‌های پوست آلو ایجاد کنند و بر هم‌کنش پلیمر با مولکول‌های آب را محدود سازند و فیلم‌هایی با رطوبت کم

۳-۱- ضخامت

ضخامت یک فاکتور مهم برای تعیین خواص فیزیکی فیلم‌ها است زیرا مستقیماً بر سایر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مانند نفوذپذیری به بخار آب و اکسیژن و خواص مکانیکی اثر می‌گذارد [۱۵]. طبق شکل ۱ ضخامت فیلم ژلاتین بیشتر از فیلم آلژینات است. با اضافه نمودن ژلاتین به فیلم آلژینات ضخامت فیلم ترکیبی از فیلم آلژینات بیشتر شد. با افزایش درصد فایکوسیانین، ضخامت فیلم نیز افزایش یافت ($P < 0/05$). افزایش ضخامت فیلم به دلیل افزایش محتوای جامد فیلم است.

تحقیقات نشان داد ضخامت فیلم ژلاتین با افزایش غلظت عصاره ساپان *Caesalpinia sappan L* به طور قابل توجهی افزایش یافت [۱۶]. ضخامت فیلم ژلاتین ماهی همراه با افزایش غلظت پودر پوست انار افزایش یافت. افزایش ضخامت فیلم می‌تواند به دلیل افزایش محتوای جامد فیلم باشد. علاوه بر این، فعل و انفعالات بین گروه‌های فنلی عصاره، گلیسرول و ژلاتین، منجر به ایجاد فیلم‌های ضخیم‌تر می‌شود [۱۷]. همچنین ضخامت فیلم آلژینات سدیم-عصاره اتانولی برگ گواوا با افزایش غلظت عصاره، به دلیل مقدار بیشتر محتویات جامد، افزایش یافت [۲]. همچنین ضخامت فیلم کربوکسی متیل سلولز-آلژینات سدیم با افزایش غلظت فایکوسیانین در ماتریس فیلم افزایش یافت. این موضوع می‌تواند به دلیل برهم‌کنش بیشتر بین فایکوسیانین و ماتریس فیلم پلیمری (پیوند هیدروژنی) باشد که منجر به اتصال قوی ماتریس و فایکوسیانین شد و ساختار فیلم را فشرده‌تر کرده و ضخامت فیلم را افزایش داد [۱۸]. همچنین وجود فایکوسیانین در فیلم‌های مبتنی بر ژلاتین، به ویژه در غلظت‌های ۶/۲۵٪ و ۱۲/۵٪، به طور قابل توجهی ضخامت فیلم را به دلیل افزایش محتوای جامد فیلم افزایش داده است. علاوه بر این، احتمالاً ساختار منظم و خطی ژلاتین، محتوای بالای فایکوسیانین را در موقعیتی بین زنجیرهای ژلاتینی محدود کرده و آن را مجبور به افزایش حجم فیلم کرده است [۱۹].

مشابه نتایج حاضر، در پژوهشی حلالیت فیلم آلژینات ۹۶/۱۶٪ گزارش شد. نتایج نشان داد تعامل بین اجزای اصلی فیلم آلژینات سدیم-کلسیم و فوکوئیدان سبب کاهش حلالیت شده است [۲۵]. ارزیابی فیلم‌های فعال مبتنی بر آلژینات سدیم-ژلاتین حاوی عصاره پوست چغندر نشان داد فیلم آلژینات سدیم-ژلاتین بالاترین درصد حلالیت را در بین تمام تیمارها داشتند که با توجه به خواص آب دوست بودن ژلاتین و آلژینات سدیم این انتظار می‌رود. در حالی که حلالیت پس از افزودن عصاره پوست چغندر تغییر یافت که مربوط به خواص آب دوستی بتالین‌ها بوده و می‌تواند به راحتی به مولکول‌های آب بچسبند [۲۶]. نتایج مشابهی در خصوص حلالیت بالای فیلم‌های آلژینات سدیم-ژلاتین گزارش شد که افزودن اسانس بومادران به عنوان یک ترکیب آب‌گریز به ساختار فیلم باعث ایجاد یک آرایش جدیدی با پلیمرهای زیستی شد که منجر به کاهش حلالیت شد. کاهش حلالیت فیلم به دلیل ماهیت آب‌گریزی اسانس بومادران و برهم‌کنش بین اجزای اسانس بومادران و گروه‌های هیدروکسیل گزارش شد [۲۷]. لذا در تحقیق حاضر تهیه فیلم ترکیبی آلژینات-ژلاتین به دلیل کاهش حلالیت می‌تواند نتیجه بهتری در بسته‌بندی داشته باشد.



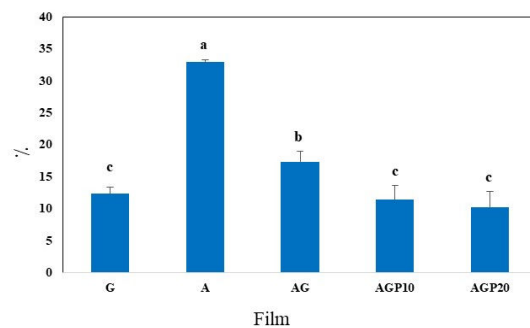
شکل ۳- حلالیت فیلم ژلاتین (G)، آلژینات (A)، آلژینات-ژلاتین (AG)، آلژینات-ژلاتین حاوی ۱۰ درصد فایکوسیانین (AGP10)، آلژینات-ژلاتین حاوی ۲۰ درصد فایکوسیانین (AGP20).

Figure 3- The Solubility of gelatin (G), alginate (A), alginate-gelatin (AG), alginate-gelatin containing 10% phycocyanin (AGP10), and alginate-gelatin containing 20% phycocyanin (AGP20) films.

۴-۴- رنگ

رنگ و شفافیت فیلم‌ها یکی از ویژگی‌های مهم بسته‌بندی مواد غذایی از نظر ظاهر محصول است. شفافیت فیلم‌ها می‌تواند بر میزان اکسیداسیون چربی‌ها و کیفیت محصول بسته‌بندی تأثیر

تولید کنند [۲۲]. همچنین با افزودن رنگ‌دانه لیکوپن به فیلم پلی‌لاکتیک اسید میزان رطوبت کاهش یافت. دلیل کاهش رطوبت با افزودن لیکوپن احتمالاً به دلیل ماهیت آب‌گریزی لیکوپن و برهم‌کنش آن با گروه‌های هیدروکسیل پلی‌لاکتیک اسید است [۲۳]. فیلم‌های آنتوسیانین، فیکوسیانین و مخلوطی از آنتوسیانین- فیکوسیانین در فیلم ترکیبی ژلاتین-پلی ساکارید سویا نشان دادند رنگ‌دانه‌های آب‌دوست مانند فیکوسیانین و آنتوسیانین می‌توانند با پلیمرهای زیستی تشکیل دهنده فیلم برهم‌کنش داشته و یک شبکه فشرده ایجاد کنند [۲۴].



شکل ۲- رطوبت فیلم ژلاتین (G)، آلژینات (A)، آلژینات-ژلاتین (AG)، آلژینات-ژلاتین حاوی ۱۰ درصد فایکوسیانین (AGP10)، آلژینات-ژلاتین حاوی ۲۰ درصد فایکوسیانین (AGP20).

Figure 2- The moisture of gelatin (G), alginate (A), alginate-gelatin (AG), alginate-gelatin containing 10% phycocyanin (AGP10), and alginate-gelatin containing 20% phycocyanin (AGP20) films.

۳-۳- حلالیت

هنگامی که فیلم‌های بسته‌بندی تجزیه پذیر در معرض مواد غذایی با محتوای رطوبت بالا قرار می‌گیرند، در سطح بالایی از انحلال قرار می‌گیرند و در نتیجه در نگهداری مواد غذایی با شکست مواجه می‌شوند. بنابراین، استراتژی‌هایی برای بهبود مقاومت در برابر آب، در فیلم‌های بسته‌بندی تجزیه پذیر مورد توجه دانشمندان بوده است، از جمله افزودن رنگ‌دانه‌ها که می‌تواند مقاومت فیلم‌های بسته‌بندی مواد غذایی در برابر آب را بهبود بخشد. شکل ۳ نتایج حاصل از بررسی حلالیت فیلم‌های تهیه شده را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد فیلم آلژینات حلالیت بالاتری نسبت به فیلم ژلاتین و فیلم AG در آب دارد ($P < 0.05$). نتایج نشان داد فیلم‌های ترکیبی حاوی رنگ‌دانه فایکوسیانین تفاوت معناداری از نظر حلالیت با یکدیگر نداشتند ($P > 0.05$).



۳-۵- پاداکسندگی

به دلیل احتمال سمیت و پتانسیل سرطان زایی پاداکسندگی های مصنوعی، کاربرد پاداکسندگی های طبیعی در فیلم های خوراکی رو به افزایش است. به منظور افزایش خاصیت پاداکسندگی فیلم های بسته بندی، عصاره های گیاهی، اسانس ها و رنگ دانه های طبیعی در فیلم های زیست تخریب پذیر گنجانده شده اند [۲۹]. نتایج حاصل از مهار رادیکال آزاد DPPH در شکل ۴ نشان داده شده است. طبق نتایج فیلم های حاوی فایکوسیانین به ویژه AGP20 و فیلم آلژینات به ترتیب بیشترین و کمترین میزان فعالیت پاداکسندگی را نشان دادند ($P < 0.05$). موسو و همکاران (۲۰۱۷) همچنین گزارش دادند که افزودن کورکومین به فیلم های ژلاتینی باعث افزایش خواص پاداکسندگی فیلم شد [۳۰]. در پژوهشی فیلم های آلژینات همراه با کلرید کلسیم بدون عصاره توت سیاه هیچ فعالیت پاداکسندگی را نشان ندادند در حالی که فیلم های حاوی عصاره توت سیاه فعالیت های پاداکسندگی را متناسب با افزایش مقادیر عصاره توت سیاه نشان دادند. این فعالیت های پاداکسندگی عصاره های گیاهی طبیعی با ترکیبات فنلی موجود در عصاره مرتبط است [۳۱]. در مورد عصاره توت سیاه، فعالیت پاداکسندگی آن به آنتوسیانین ها، فلاونول ها و پروآنتوسیانیدین ها نسبت داده شد [۳۲]. افزودن آنتوسیانین گل رز به طور قابل توجهی فعالیت مهار رادیکال آزاد فیلم آلژینات سدیم-پکتین پوست زردآلو را افزایش داد. بهبود فعالیت های پاداکسندگی فیلم های ساخته شده با آنتوسیانین گل زر به حضور گروه های O-H مرتبط است [۳۳]. ظرفیت پاداکسندگی فیلم های آلژینات سدیم-ژلاتین با افزودن پلی فنل چای به طور قابل توجهی بهبود یافت. این نتایج نشان داد که ظرفیت پاداکسندگی بالاتر، به دلیل واکنش ترکیبات فنلی بیشتر با رادیکال ها است [۴]. همچنین مهار DPPH توسط فایکوسیانین در فیلم های ژلاتین-فایکوسیانین نیز گزارش شده است [۶]. بنابراین، فیلم های حاوی رنگ دانه فایکوسیانین می توانند قابلیت بهبود ماندگاری محصولات غذایی را داشته باشند.

بگذارد. اثر تیمارهای مختلف بر شاخص L^* ، a^* و b^* و اختلاف رنگ (ΔE) در جدول ۱ نشان داده شده است. فیلم A و AG ظاهر شفاف تری نسبت به فیلم G و فیلم های فایکوسیانین دارد. شاخص های a^* ، b^* و همچنین ΔE نیز در تیمارهای حاوی فایکوسیانین اختلاف معناداری با سایر تیمارها دارد ($P < 0.05$).

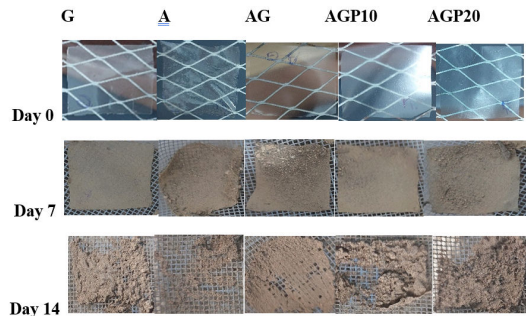
در مطالعه روی فیلم ژلاتین، نشان داده شد مقادیر قرمزی (a^*) و زردی (b^*) در فیلم های ژلاتین-فوکوئیدان با افزایش غلظت فوکوئیدان افزایش یافت [۲۸]. افزودن پلی فنل چای به فیلم های آلژینات-ژلاتین باعث کاهش مقادیر L^* و افزایش مقادیر a^* و b^* شد. علاوه بر این، ΔE نیز در تیمارهای حاوی پلی فنل چای افزایش یافت [۴]. همچنین با افزودن لیکوپن به فیلم پلی لاکتیک اسید، شاخص L^* به طور معنی داری کاهش یافت که به دلیل افزودن رنگ دانه لیکوپن می باشد که ظاهر تیره تری به فیلم می دهد [۲۳]. در پژوهشی دیگر فیلم های خوراکی ژلاتین-فایکوسیانین در مقایسه با فیلم ژلاتین نشان دادند، با افزایش فایکوسیانین، شفافیت کاهش یافته و مقادیر شاخص زردی-آبی b^* با افزایش مقدار فایکوسیانین افزایش یافت و سبب افزایش ΔE شده است [۶]. افزودن فایکوسیانین به ماتریس فیلم کربوکسی متیل سلولز-آلژینات سدیم نیز سبب کاهش شفافیت و سبب رنگ آبی تیره شد [۱۸]. لذا این تغییرات در شفافیت و ایجاد رنگ آبی کم رنگ در فیلم می تواند در حفظ فیلم نسبت نور و ایجاد اکسیداسیون محصول نتیجه مثبتی داشته باشد.

جدول ۱- رنگ فیلم ژلاتین (G)، آلژینات (A)، آلژینات-ژلاتین (AG)، آلژینات-ژلاتین حاوی ۱۰ درصد فایکوسیانین (AGP10)، آلژینات-ژلاتین حاوی ۲۰ درصد فایکوسیانین (AGP20).

Table 1- The color of gelatin (G), alginate (A), alginate-gelatin (AG), alginate-gelatin containing 10% phycocyanin (AGP10), and alginate-gelatin containing 20% phycocyanin (AGP20) films.

Film	L^*	a^*	b^*	ΔE
G	62 ± 1.2 ^b	-6.6 ± 0.3 ^a	3.5 ± 0.6 ^a	control
A	66.7 ± 1.7 ^a	-6.8 ± 0.3 ^a	3.1 ± 1.1 ^a	4.8 ± 1.6 ^b
AG	67.3 ± 2.1 ^a	-7.3 ± 0.4 ^a	4.5 ± 1 ^a	5.5 ± 2.2 ^b
AGP10	63.2 ± 2 ^b	-10.4 ± 0.8 ^b	-0.3 ± 0.2 ^b	6 ± 0.7 ^b
AGP20	55.2 ± 2.7 ^c	-13.7 ± 0.8 ^c	-4.8 ± 1.2 ^c	12.6 ± 2.2 ^a

پس از ۷ روز و افزایش تجزیه زیستی پس از ۱۴ روز را مشاهده کردند، که در آن فیلم‌ها با افزودن پاداکسنده ساختار بهتری را در ارتباط با فیلم کنترل ارائه کردند [۱۴]. در هر صورت نتایج این تحقیق نشان داد در فیلم ترکیبی با افزودن رنگ‌دانه‌های فایکوسیاین خلی در تجزیه پذیری فیلم اتفاق نیفتاده است.



شکل ۵- زیست تخریب پذیری فیلم ژلاتین (G)، آلژینات (A)، آلژینات-ژلاتین (AG)، آلژینات-ژلاتین حاوی ۱۰ درصد فایکوسیاین (AGP10)، آلژینات-ژلاتین حاوی ۲۰ درصد فایکوسیاین (AGP20).

Figure 5- Biodegradability of gelatin (G), alginate (A), alginate-gelatin (AG), alginate-gelatin containing 10% phycocyanin (AGP10), and alginate-gelatin containing 20% phycocyanin (AGP20) films.

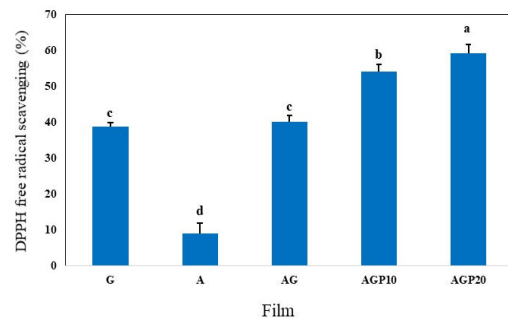
۷-۳- نتیجه گیری

در مطالعه حاضر نشان داده شد استفاده از فایکوسیاین در فیلم ترکیبی آلژینات-ژلاتین سبب کاهش حلالیت و رطوبت و افزایش فعالیت پاداکسنده فیلم‌ها شده است و تاثیر معناداری بر ضخامت و زیست تخریب پذیری فیلم‌ها نداشته است. نتایج این تحقیق نشان داد استفاده از فایکوسیاین ریزجلبک اسپیرولینا به‌عنوان یک پاداکسنده طبیعی، می‌تواند به احتمال زیاد با کاهش اکسیداسیون موجب افزایش طول مدت زمان نگهداری مواد غذایی فسادپذیر شود و با توجه به بهبود خواص فیزیکی، افزایش پایداری فیلم‌های تهیه شده به منظور به کارگیری در بسته‌بندی مواد غذایی حاصل می‌گردد.

۴- تقدیر و تشکر

بدینوسیله نویسندگان این مقاله از همکاری کارشناس محترم آزمایشگاه شیلات دانشگاه شیراز سپاسگزاری می‌نمایند.

۵- مراجع



شکل ۴- پاداکسنده‌گی فیلم ژلاتین (G)، آلژینات (A)، آلژینات-ژلاتین (AG)، آلژینات-ژلاتین حاوی ۱۰ درصد فایکوسیاین (AGP10)، آلژینات-ژلاتین حاوی ۲۰ درصد فایکوسیاین (AGP20).

Figure 4- Antioxidant activity of gelatin (G), alginate (A), alginate-gelatin (AG), alginate-gelatin containing 10% phycocyanin (AGP10), and alginate-gelatin containing 20% phycocyanin (AGP20) films.

۶-۳- زیست تخریب پذیری

تجزیه زیستی را می‌توان به عنوان تخریب در یک محیط زیستی تعریف کرد، جایی که میکروارگانیسم‌ها و آنزیم‌ها مسئول تجزیه مواد آلی هستند [۳۴]. با توجه به نگرانی‌های فزاینده در مورد مدیریت زباله، تخریب زیستی در تولید فیلم مورد توجه است. فرآیند تجزیه زیستی تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند ماهیت پلیمر، ضخامت فیلم و حلالیت در آب، شرایط خاک (رطوبت، pH و میکروارگانیسم‌ها) و دما قرار می‌گیرد [۳۵]. زیست تخریب‌پذیری در مطالعه حاضر به صورت کیفی در شکل ۵ مورد بررسی قرار گرفت.

همانطور که مشاهده می‌شود، فیلم‌ها بعد از ۷ روز مدفون شدن در خاک، تکه تکه شدند و در ۱۵ روز کاملاً تخریب شدند. فیلم‌های نشاسته ذرت-ژلاتین غنی شده با انبه (پوره و پوست) و تفاله آناناس نشان دادند تقریباً ۵۰ درصد از فیلم‌ها پس از ۱۵ روز تخریب شدند. زمان تجزیه زیستی برای غلظت بالای تفاله آناناس، پوره انبه و انبه با پوست نسبتاً کندتر بود، که نشان می‌دهد افزایش مقدار ترکیبات فعال زیستی با فعالیت پاداکسنده‌گی، مانند ترکیبات فنلی، کاروتنوئیدها و ویتامین‌های موجود در انبه و آناناس ممکن است با تجزیه میکروبی فیلم‌ها تداخل داشته باشد و در نتیجه آن را مهار کند [۳۶]. در بررسی فیلم‌های آلژینات-آنتوسیانین مدفون در خاک پس از ۹ روز، شروع به تکه تکه شدن کردند و به طور کامل در ۱۵ روز تخریب شدند [۳۷]. محققان در فیلم‌های نشاسته کاساوا ترکیب شده با عصاره رزماری، شروع کاهش وزن و تغییر ماتریکس را



- [1] Suhag, R., Kumar, N., Petkoska, A. T., & Upadhyay, A. (2020). Film Formation and Deposition Methods of Edible Coating on Food Products: A review. *Food Research International*, 136: 109582.
- [2] Luo, Y., Liu, H., Yang, S., Zeng, J., & Wu, Z. (2019). Sodium Alginate-Based Green Packaging Films Functionalized by Guava Leaf Extracts and Their Bioactivities. *Materials*, 12(18).
- [3] Parreidt, T. S., Müller, K., & Schmid, M. (2018). Alginate-Based Edible Films and Coatings for Food Packaging Applications. *Foods*, 7(10): 1–38.
- [4] Dou, L., Li, B., Zhang, K., Chu, X., & Hou, H. (2018). Physical Properties and Antioxidant Activity of Gelatin-Sodium Alginate Edible Films with Tea Polyphenols. *International Journal of Biological Macromolecules*, 118: 1377–1383.
- [5] Pan-utai, W., & Iamtham, S. (2019). Physical Extraction and Extrusion Entrapment of C-Phycocyanin from *Arthrospira platensis*. *Journal of King Saud University - Science*, 31(4): 1535–1542.
- [6] Chentir, I., Kchaou, H., Hamdi, M., Jridi, M., Li, S., Doumandji, A., & Nasri, M. (2019). Biofunctional Gelatin-Based Films Incorporated with Food Grade Phycocyanin Extracted from The *Saharian cyanobacterium Arthrospira sp.* *Food Hydrocolloids*, 89: 715–725.
- [7] Bertolin, T. E., Guarienti, C., Farias, D., Souza, F. T., Gutkoski, L. C., & Colla, L. M. (2011). Antioxidant Effect of Phycocyanin on Dried-Salted Fish. *Ciência e Agrotecnologia*, 35: 751-757.
- [8] Campos Assumpção de Amarante, M., Cavalcante Braga, A. R., Sala, L., & Juliano Kalil, S. (2020). Colour Stability and Antioxidant Activity of C-Phycocyanin-Added Ice Creams after in Vitro Digestion. *Food Research International*, 137: 109602.
- [9] Mousavi, Z., Naseri, M., Babaei, S., Hosseini, S. M. H., & Shekarfroush, S. S. (2021). The Effect of Cross-Linker Type on Structural, Antimicrobial and Controlled Release Properties of Fish Gelatin-Chitosan Composite Films Incorporated with ϵ -poly-L-lysine. *International Journal of Biological Macromolecules*, 183: 1743–1752.
- [10] Sinaga, M., Gea, S., Sihombing, Y., Zaidar, E., Bulan, R., Panindia, N., & Azhari, H. (2018). The Preparation of Agar-Chitosan Film from *Gracilaria*. In *Proceedings of the International Conference of Science, Technology, Engineering, Environmental and Ramification Researches*, 1: 1047–1051.
- [11] Asad Samani, M., Babaei, S., Naseri, M., Majdinasab, M., & Nafchi, A. M. (2023). Development and Characterization of a Novel Biodegradable and Antioxidant Film Based on Marine Seaweed Sulfated Polysaccharide. *Food Science & Nutrition*, 11(7): 3767-3779.
- [12] Ballesteros, L. F., Cerqueira, M. A., Teixeira, J. A., & Mussatto, S. I. (2018). Production and Physicochemical Properties of Carboxymethyl Cellulose Films Enriched with Spent Coffee Grounds Polysaccharides. *International Journal of Biological Macromolecules*, 106: 647–655.
- [13] Li, Y., Chen, K., Yang, Q., Hong, H., Feng, L., & Luo, Y. (2021). Development and Characterization of Novel Antioxidant Films Based on Chitosan and Maillard Reaction Products. *Lwt*, 141: 110886.
- [14] Piñeros-Hernandez, D., Medina-Jaramillo, C., López-Córdoba, A., & Goyanes, S. (2017). Edible Cassava Starch Films Carrying Rosemary Antioxidant Extracts for Potential Use As Active Food Packaging. *Food Hydrocolloids*, 63: 488–495.
- [15] Khodaei, D., Oltrogge, K., & Hamidi-Esfahani, Z. (2020). Preparation and Characterization of Blended Edible Films Manufactured Using Gelatin, Tragacanth Gum and, Persian Gum. *Lwt*, 117: 108617.
- [16] Romruen, O., Kaewprachu, P., Karbowiak, T., & Rawdkuen, S. (2022). Development of Intelligent Gelatin Films Incorporated with Sappan *Caesalpinia sappan* L. Heartwood Extract. *Polymers*, 14(12): 1–14.
- [17] Hanani, Z. N., Yee, F. C., & Nor-Khaizura, M. A. R. (2019). Effect of Pomegranate *Punica granatum* L. Peel Powder On The Antioxidant and Antimicrobial Properties of Fish Gelatin Films as Active Packaging. *Food Hydrocolloids*, 89: 253-259.
- [18] Akhtar, H. M. S., Zhao, Y., Li, L., & Shi, Q. (2024). Novel Active Composite Films Based on Carboxymethyl Cellulose and Sodium Alginate Incorporated with Phycocyanin: Physico-Chemical, Microstructural and Antioxidant Properties. *Food Hydrocolloids*, 147: 109440.
- [19] Tongnuanchan, P., Benjakul, S., Prodpran, T., & Nilswan, K. (2015). Emulsion Film Based on Fish Skin Gelatin and Palm Oil: Physical, Structural and Thermal Properties. *Food Hydrocolloids*, 48: 248–259.
- [20] Bhatia, S., Al-Harrasi, A., Jawad, M., Shah, Y. A., Al-Azri, M. S., Ullah, S., Anwer, M. K., Aldawsari, M. F., Koca, E., & Aydemir, L. Y. (2023). A Comparative Study of the Properties of Gelatin Porcine and Bovine -Based Edible Films Loaded with Spearmint Essential Oil. *Biomimetics*, 8(2): 172.
- [21] Wang, X., Yong, H., Gao, L., Li, L., Jin, M., & Liu, J. (2019). Preparation and Characterization of Antioxidant and Ph-Sensitive Films Based on Chitosan and Black Soybean Seed Coat Extract. *Food Hydrocolloids*, 89, 56–66.
- [22] Qin, Y., Liu, Y., Yong, H., Liu, J., Zhang, X., & Liu, J. (2019). Preparation and Characterization of Active and Intelligent Packaging Films Based on Cassava Starch and Anthocyanins from *Lycium ruthenicum* Murr. *International Journal of Biological Macromolecules*, 134: 80–90.
- [23] Asadi, S., & Pirsá, S. (2020). Production of Biodegradable Film Based on Polylactic Acid, Modified with Lycopene Pigment and TiO₂ and Studying Its Physicochemical Properties. *Journal of Polymers and the Environment*, 28(2): 433–444.
- [24] Sani, M. A., Tavassoli, M., Hamishehkar, H., & McClements, D. J. (2021). Carbohydrate-Based Films Containing Ph-Sensitive Red Barberry Anthocyanins: Application as Biodegradable Smart Food Packaging Materials. *Carbohydrate Polymers*, 255: 117488.
- [25] Gomaa, M., Fawzy, M. A., Hifney, A. F., & Abdel-Gawad, K. M. (2018). Use of The Brown Seaweed *Sargassum latifolium* in the Design of Alginate-Fucoidan Based Films with Natural Antioxidant Properties and Kinetic Modeling of Moisture Sorption and Polyphenolic Release. *Food Hydrocolloids*, 82: 64-72.
- [26] Chaari, M., Elhadeif, K., Akermi, S., Ben Akacha, B., Fourati, M., Chakchouk Mtibaa, A., Ennouri, M., Sarkar, T., Shariati, M. A., Rebezov, M., Abdelkafi, S., Mellouli, L., & Smaoui, S. (2022). Novel Active Food Packaging Films Based on Gelatin-Sodium Alginate Containing Beetroot Peel Extract. *Antioxidants*, 11(11): 1–25.
- [27] Karami, P., Zandi, M., & Ganjloo, A. (2022). Evaluation of Physicochemical, Mechanical, and Antimicrobial Properties of Gelatin-Sodium Alginate-Yarrow *Achillea millefolium* L. Essential Oil Film. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(7): 1–14.
- [28] Pouralkhas, M., Kordjazi, M., Ojagh, S. M., & Farsani, O. A. (2023). Physicochemical and Functional Characterization of Gelatin Edible Film Incorporated with Fucoidan Isolated from *Sargassum tenerrimum*. *Food Science and Nutrition*, 4124–4135.
- [29] López De Dicastillo, C., Rodríguez, F., Guarda, A., & Galotto, M. J. (2016). Antioxidant Films Based on Cross-Linked Methyl Cellulose and Native Chilean Berry for Food Packaging Applications. *Carbohydrate Polymers*, 136: 1052–1060.
- [30] Musso, Y. S., Salgado, P. R., & Mauri, A. N. (2017). Smart Edible Films Based on Gelatin and Curcumin. *Food Hydrocolloids*, 66: 8–15.

- [31] Yang, H. J., Lee, J. H., Won, M., & Song, K. Bin. (2016). Antioxidant Activities of Distiller Dried Grains With Solubles as Protein Films Containing Tea Extracts and Their Application in The Packaging of Pork Meat. *Food Chemistry*, 196: 174–179.
- [32] Kim, B., Ku, C. S., Pham, T. X., Park, Y., Martin, D. A., Xie, L., Taheri, R., Lee, J., & Bolling, B. W. (2013). Aronia Melanocarpa Chokeberry Polyphenol-Rich Extract Improves Antioxidant Function and Reduces Total Plasma Cholesterol in Apolipoprotein E Knockout Mice. *Nutrition Research*, 33(5): 406–413.
- [33] Qiu, L., Zhang, M., Huang, M., Chitrakar, B., & Chang, L. (2023). Fabrication of Sodium Alginate/Apricot Peel Pectin Films Incorporated with Rose Anthocyanin-Rich Extract for Monitoring Grass Carp *Ctenopharyngodon idellus* Freshness. *Food Packaging and Shelf Life*, 39: 101150
- [34] Fernandes, S. S., Romani, V. P., da Silva Filipini, G., & G. Martins, V. (2020). Chia Seeds to Develop New Biodegradable Polymers for Food Packaging: Properties and Biodegradability. *Polymer Engineering and Science*, 60(9): 2214–2223.
- [35] Colussi, R., Pinto, V. Z., El Halal, S. L. M., Biduski, B., Prietto, L., Castilhos, D. D., Zavareze, E. da R., & Dias, A. R. G. (2017). Acetylated Rice Starches Films with Different Levels of Amylose: Mechanical, Water Vapor Barrier, Thermal, and Biodegradability Properties. *Food Chemistry*, 221: 1614–1620.
- [36] Susmitha, A., Sasikumar, K., Rajan, D., & Nampoothiri, K. M. (2021). Development and Characterization of Corn Starch-Gelatin-Based Edible Films Incorporated with Mango and Pineapple for Active Packaging. *Food Bioscience*, 41: 100977.
- [37] Santos, L. G., Alves-Silva, G. F., & Martins, V. G. (2022). Active-Intelligent and Biodegradable Sodium Alginate Films Loaded with *Clitoria Ternatea* Anthocyanin-Rich Extract to Preserve and Monitor Food Freshness. *International Journal of Biological Macromolecules*, 220: 866-877.

Cite this article as: Al Behbahani, S., Babaei, S., Naseri, M., and Esmaili, M. (2025). Enhancing Physical Properties, Antioxidant Activity, and Biodegradability of Alginate-Gelatin Composite Film Containing Phycocyanin. *Marine Biological Sciences and Technologies*, 1(1), 1-10.